

Cited Reference ①

**PATENT ABSTRACTS OF JAPAN**

(11)Publication number : 11-173836

(43)Date of publication of application : 02.07.1999

---

(51)Int.Cl. G01B 21/20  
G01B 5/20

---

---

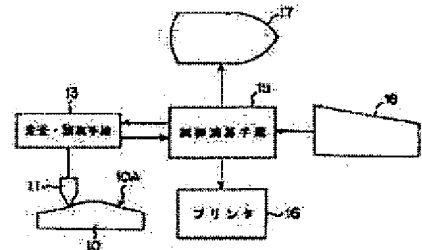
(21)Application number : 09-341420 (71)Applicant : RICOH CO LTD  
(22)Date of filing : 11.12.1997 (72)Inventor : SHINPO KOHEI

---

**(54) SHAPE MEASURING METHOD AND EQUIPMENT THEREFOR****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize simpler and surer elimination of abnormal data, in a probe system shape measurement.

**SOLUTION:** The surface 10A of an object 10 to be measured is continuously scanned by a probe 11, and the contour form of the surface of the object to be measured is obtained as the point row data on a scanned locus. In this shape measuring method, the secondary differential operator of a sampling value at each sampling point on the scanned locus is operated. A sampling value at a sampling point where the operated secondary differential operator exceeds a specified range is eliminated from the point row data.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-173836

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 1 B 21/20  
5/20

識別記号

1 0 1  
1 0 1

F I

G 0 1 B 21/20  
5/20

1 0 1 Z  
1 0 1 Z

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平9-341420

(22) 出願日 平成9年(1997)12月11日

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72) 発明者 新保 晃平

東京都大田区中馬込1丁目3番6号・株式  
会社リコー内

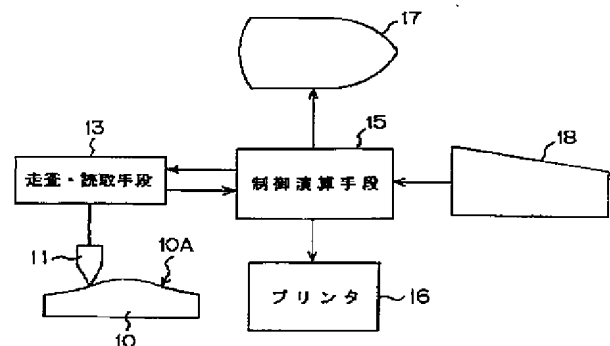
(74) 代理人 弁理士 樺山 亨 (外1名)

(54) 【発明の名称】 形状測定方法および形状測定装置

(57) 【要約】

【課題】プローブ式の形状測定において、より簡易且つ確実に異常データの除去を実現する。

【解決手段】被測定物10の表面10Aをプローブ11により連続的に走査し、被測定物の表面の輪郭形状を走査軌跡上の点列データとして求める形状測定方法において、走査軌跡上の各サンプリング点におけるサンプリング値の2次微分オペレータを演算し、演算された2次微分オペレータが、所定の範囲を超えるサンプリング点におけるサンプリング値を点列データから除去する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】被測定物の表面をプローブにより連続的に走査し、上記被測定物の上記表面の輪郭形状を走査軌跡上の点列データとして求める形状測定方法において、走査軌跡上の各サンプリング点におけるサンプリング値の 2 次微分オペレータを演算し、演算された 2 次微分オペレータが、所定の範囲を超えるサンプリング点におけるサンプリング値を点列データから除去することを特徴とする形状測定方法。

【請求項 2】請求項 1 記載の形状測定方法において、異常データを除去されたサンプリング点に対し、上記サンプリング点近傍の、複数の他のサンプリング点におけるサンプリング値を用いて補間した値をサンプリング値として用いることを特徴とする形状測定方法。

【請求項 3】請求項 1 または 2 記載の形状測定方法において、

ユーザが設定する定数を  $k$ 、サンプリング点： $X_i$  における 2 次微分オペレータを  $f(i)$ 、 $f(i)$  の平均値を  $[f(i)]_{AV}$ 、 $f(i)$  の標準偏差を  $f_{std}$  とするとき、2 次微分オペレータに対する所定の範囲を、 $[f(i)]_{AV} - k \cdot f_{std} < f(i) < [f(i)]_{AV} + k \cdot f_{std}$

として自動設定することを特徴とする形状測定方法。

【請求項 4】請求項 3 記載の形状測定方法において、自動設定された所定の範囲により異常データを除去するプロセスと、該プロセスにより異常データ除去後のデータに対して上記所定の範囲を再度自動設定して異常データの除去を行うプロセスとを、除去すべき異常データが存在しなくなるまで繰り返すことを特徴とする形状測定方法。

【請求項 5】被測定物の表面をプローブにより連続的に走査し、上記被測定物の上記表面の輪郭形状を走査軌跡上の点列データとして求める形状測定装置であって、被測定物の表面をプローブにより連続的に走査するプローブ走査手段と、

該プローブ走査手段による走査位置と走査結果を検出する読取手段と、

該読取手段により検出された走査結果を取り込み、1 連のサンプリング点におけるサンプリング値に基づき、上記被測定物の表面の輪郭形状を走査軌跡上の点列データとして求めるとともに、各部の制御や各種演算を行う制御演算手段と、

該制御演算手段による点列データや演算結果を表示する表示手段とを有し、

上記制御演算手段が、各サンプリング点におけるサンプリング値の 2 次微分オペレータを算出し、算出された 2 次微分オペレータが、所定の範囲を超えるサンプリング点におけるサンプリング値を点列データから除去する演算を行うことを特徴とする形状測定装置。

【請求項 6】請求項 5 記載の形状測定装置において、

制御演算手段が、異常データを除去されたサンプリング点に対し、上記サンプリング点の近傍の複数の他のサンプリング点におけるサンプリング値を用いて補間する演算を行うことを特徴とする形状測定装置。

【請求項 7】請求項 5 または 6 記載の形状測定装置において、

2 次微分オペレータの所定の範囲を設定するために、ユーザが定数： $k$  を設定するための入力部を有し、制御演算手段が、ユーザにより設定された定数： $k$  の値と、サンプリング点： $X_i$  における 2 次微分オペレータ： $f(i)$ 、 $f(i)$  の平均値： $[f(i)]_{AV}$ 、 $f(i)$  の標準偏差： $f_{std}$  に基づき、2 次微分オペレータの所定の範囲を、

$[f(i)]_{AV} - k \cdot f_{std} < f(i) < [f(i)]_{AV} + k \cdot f_{std}$

として自動設定することを特徴とする形状測定装置。

【請求項 8】請求項 7 記載の形状測定装置において、制御演算手段が、自動設定された所定の範囲により異常データを除去するプロセスと、該プロセスにより異常データ除去後のデータに対して上記所定の範囲を再度自動設定して異常データの除去を行うプロセスとを、除去すべき異常データが存在しなくなるまで繰り返すことを特徴とする形状測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は形状測定方法および形状測定装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近來、レンズ面形状の設計の自由度の大きい非球面レンズが広く使用されるようになってきている。非球面レンズのレンズ面形状は球面レンズに比して複雑であり、非球面レンズ作製においては、作製された実際のレンズのレンズ面が、設計上の形状をどれ程忠実に再現しているかを評価する必要がある。このような複雑な表面形状の評価方法として、被測定物の表面をプローブにより連続的に走査し、被測定物の表面の輪郭形状を走査軌跡上の点列データとして求めるプローブ式の形状測定方法が知られている。走査軌跡上の点列データが得られると、これに基づいてデータ処理を行い、近軸曲率半径等の評価パラメータを求めることができ、これら評価パラメータにより測定された表面の形状を評価することができる。プローブ式の形状測定では、プローブで走査される表面に「ゴミ」等が付着していると、付着したゴミの形状も表面の点列データとしてデータ化されるが、ゴミ等の付着部分で得られるデータ（以下「異常データ」と呼ぶ）は、ゴミ近傍の正常なデータから一般に大きくずれている。表面形状を測定される表面には、表面粗さによる細かい凹凸が存在するし、プローブの走査により得られるデータには当然に測定誤差が含まれる。しかし、これら表面粗さや側値誤差は「一般にガウス分

布に従って分布」する。しかるに上記異常データはガウス分布からはみ出してしまうので、このような異常データを含んだままの点列データをもとに、最小2乗法に基づいて曲率半径等を推定するようなデータ処理を行う場合、データ処理による推定結果の信頼性を著しく低下させてしまう。

【0003】従って、データに基づく曲率半径の演算等のデータ処理を適正に行うには、点列データから予め異常データを除去することが必要になる。異常データの除去に関しては、特開平8-285570号公報開示の方法が知られている。この方法は、異常データを含んだままで、測定対象物の取付誤差補正や設計形状分離等のデータ処理を行い、得られた形状誤差データを基に「しきい値」を設定し、形状誤差データのうちで「しきい値」より大きいものを異常データとして除去する。このようにして異常データを除去されたデータに対して、上記のデータ処理をやりなおす。このプロセスを複数回行うのである。この方法は有効ではあるが、取付誤差補正等のデータ処理は演算量が多いので演算手段に大きな負担がかかり、最終的な評価パラメータを得るのに長い演算時間を必要とするという問題がある。

【0004】また特開平9-196606号公報には、点列データから1次微分を演算し、1次微分が「所定のしきい値」より大きい領域は、演算の対象から除くことが開示されており、1次微分の結果を利用して異常データを選別することも考えられるが、1次微分は測定対象物の表面の傾きに対応するものであり、測定の対象となる表面が非球面等の場合には、測定領域に「かなりの傾き」を持った領域が存在することも考えられ、場合によっては、このような測定領域で得られる適正なデータが、1次微分が大きいからという理由で、異常データとして除去される虞れがある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】この発明は、プローブ式の形状測定において、より簡易且つ確実に異常データの除去を実現することを課題とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】この発明の形状測定方法は、「被測定物の表面をプローブにより連続的に走査し、被測定物の表面の輪郭形状を走査軌跡上の点列データとして求める形状測定方法」であって、以下の点の特徴とする（請求項1）。即ち「走査軌跡上の各サンプリング点におけるサンプリング値の2次微分オペレータを演算し、演算された2次微分オペレータが所定の範囲を超えるサンプリング点におけるサンプリング値を点列データから除去する」のである。即ち、この発明においては「2次微分オペレータが所定の範囲を超えるサンプリング点におけるサンプリング値」を異常データとして、点列データ（プローブによる走査の結果をサンプリングしたサンプリング値の集合体）から除去するのである。

(3)

特開平11-173836

4

2次微分オペレータは被測定物の表面における「曲率」に比例的であり、曲率が極端に大きくないところ（一般に被測定物の表面の曲率は比較的小さい値である）では、正常なデータに対する2次微分オペレータはさほど大きくなく、表面の傾きの大きい領域でも正常データが異常データとされる虞れは小さい。被測定物は「表面形状を測定すべき物体」であって、具体的には、非球面レンズや、非球面形状を持った反射鏡、非球面の形成に使用する金型等である。

10 【0007】上記点列データから異常データを除いたデータに対して、近軸曲率半径の推定等のデータ処理が行われるが、この場合、異常データの除かれた部分ではサンプリングピッチが大きく変わるので、これを避けるために「異常データが除去されたサンプリング点に対し、上記サンプリング点の近傍の複数の他のサンプリング点におけるサンプリング値を用いて補間した値をサンプリング値として用いる」ことができる（請求項2）。

20 【0008】上記2次微分オペレータの異常・正常を分ける「所定の範囲」は、測定を行うユーザが経験等に基づき適宜に設定することができるが、これを、測定により得られる点列データに基づき、自動的に設定することができる。即ち、ユーザが設定する定数を $k$ 、サンプリング点： $X_i$ における2次微分オペレータを $f(i)$ 、 $f(i)$ の平均値を $[f(i)]_{AV}$ 、 $f(i)$ の標準偏差を $f_{std}$ とすると、2次微分オペレータの所定の範囲を、 $[f(i)]_{AV} - k \cdot f_{std} < f(i) < [f(i)]_{AV} + k \cdot f_{std}$

30 として自動設定することができる（請求項3）。定数： $k$ は通常「3または4」を設定するが、どちらの値を入力するかに際しては、サンプリング数、即ちサンプリング点の数を目安にできる。サンプリング数が数万のオーダーと大きいときには、異常データを与えるサンプリング点における2次微分オペレータ： $f(i)$ は大きくても、平均値： $[f(i)]_{AV}$ や標準偏差： $f_{std}$ に与える影響が小さい。このような場合に、 $k$ の値を小さく（ $k=3$ ）設定すると、異常データを排除するための2次微分オペレータの範囲幅が狭くなり、異常でないデータまでも異常データとして除去される虞れがある。従って、このような場合は $k$ の値として4を設定するのが良い。逆にサンプリング数が数千のオーダーと少ないときには、 $k$ の値が大きいと、異常データに応じた2次微分オペレータの内で比較的小さいものが所定の範囲内に残る可能性があるので、このような場合には $k=3$ とする。

50 【0009】上記請求項3の場合、点列データ内の異常データで、その2次微分オペレータが非常に大きいものがあると、自動的に設定される範囲も大きくなる。このような場合、上記非常に大きい2次微分オペレータを与える異常データを除去した残りのデータに基づき、再度上記の「範囲」を設定しなおし、その範囲で異常データの選別を行うと中程度の大きさの2次微分オペレータに

対応する異常データを選別除去できる。従って、このプロセスを繰り返すことにより、データ処理に悪影響を与える異常データを、2次微分オペレータの比較的に小さいものまで有効に除去できる。即ち、請求項3記載の発明において「自動設定された（2次微分オペレータに対する）所定の範囲により異常データを除去するプロセスと、該プロセスにより異常データ除去後のデータに対して上記所定の範囲を再度自動設定して異常データの除去を行うプロセスとを、除去すべき異常データが存在しなくなるまで繰り返す」ことができる（請求項4）。上記請求項1～4の任意のものに記載された形状測定方法において、プローブによる被測定物表面の走査は、直線的な1方向における走査のみならず、円弧状や螺旋状の走査でもよく、また、被測定物表面を複数本走査して2次元的な表面形状測定を行うことも可能であり、このような場合には、各走査ごとに上記方法による異常データ除去を行えば良い。

【0010】この発明の形状測定装置は「被測定物の表面をプローブにより連続的に走査し、被測定物の表面の輪郭形状を走査軌跡上の点列データとして求める形状測定装置」であって、プローブ走査手段と、読取手段と、制御演算手段と、表示手段とを有する。「プローブ走査手段」は、被測定物の表面をプローブにより連続的に走査する手段であり、従来から知られたものを適宜利用できる。「読取手段」は、プローブ走査手段による走査位置と走査結果を検出する手段であり、これも従来から知られたものを適宜利用できる。「制御演算手段」は、読取手段により検出された走査結果を取り込み、所望の1連のサンプリング点におけるサンプリング値に基づき、被測定物の表面の輪郭形状を走査軌跡上の点列データとして求めるとともに、各部の制御や各種演算を行う手段であり、マイクロコンピュータ及びその周辺機器（メモリ等）として実現できる。「表示手段」は、制御演算手段により得られた点列データや演算結果を表示する手段であり、表示用ディスプレイおよび／または印刷装置として実現できる。請求項5記載の形状測定装置は、上記制御演算手段が「各サンプリング点におけるサンプリング値の2次微分オペレータを算出し、算出された2次微分オペレータが、所定の範囲を超えるサンプリング点におけるサンプリング値を点列データから除去する演算」を行うことを特徴とする。

【0011】請求項6記載の形状測定装置は、上記請求項5記載の形状測定装置において、制御演算手段が「異常データを除去されたサンプリング点に対し、該サンプリング点近傍の複数の他のサンプリング点におけるサンプリング値を用いて補間する演算を行う」ことを特徴とする。請求項7記載の形状測定装置は、上記請求項5または6記載の形状測定装置において、2次微分オペレータの所定の範囲を設定するために「ユーザが定数：kを設定するための入力部」を有し、制御演算手段が「ユー

ザにより設定された定数：kの値と、サンプリング点： $X_i$  における2次微分オペレータ： $f(i)$ 、 $f(i)$ の平均値： $[f(i)]_{AV}$ 、 $f(i)$ の標準偏差： $f_{std}$ に基づき、2次微分オペレータの所定の範囲を、

$$[f(i)]_{AV} - k \cdot f_{std} < f(i) < [f(i)]_{AV} + k \cdot f_{std}$$

として自動設定する」ことを特徴とする。そして請求項8記載の画像形成装置は、請求項7記載の形状測定装置において、制御演算手段が「自動設定された（2次微分オペレータに対する）所定の範囲により異常データを除去するプロセスと、該プロセスにより異常データ除去後のデータに対して上記所定の範囲を再度自動設定して異常データの除去を行うプロセスとを、除去すべき異常データが存在しなくなるまで繰り返す」ことを特徴とする。

【0012】なお、プローブ走査手段において、被測定物の表面を連続的に走査するプローブは「スタイラス」や「先端にルビー等の小球を取り付けた接触式プローブ」を用いることができることは勿論、「光束を被測定物の表面に照射し、反射光束によりフォーカス誤差信号を発生させる光触針式プローブ」を用いても良い。光触針式プローブでは、被測定物の表面に「ごみ」等が存在すると乱反射成分が急激に増加し、正確なフォーカス誤差信号が得られなくなるため、「ごみ」による本来の凹凸によるよりも大きな異常データを発生しやすい。従って、この発明は、光触針式プローブを用いる場合に極めて有効である。

#### 【0013】

【発明の実施の形態】図1は、この発明の形状測定装置の実施の1形態をブロック図として示している。被測定物10は「非球面レンズ」等であり、測定対象としての表面10Aを有する。プローブ11は走査・読取手段13により駆動されて被測定物10の表面を連続的に走査する。プローブ11は接触式プローブでもよいし光触針式プローブでもよい。制御演算手段15は、測定プロセスをプログラム化した測定プログラムを記憶するROMや、上記測定プログラムに従って測定プロセスの制御や各種の演算を実行するCPU、測定データを記憶するRAMや、外部機器との信号授受を行うI/Oポート等により構成されている。符号16はプリンタ、符号17はディスプレイ、符号18はキーボードを示す。プリンタ16およびディスプレイ17は「表示手段」を構成する。被測定物10は形状測定の対象となる表面10Aをプローブ11の側に向け、図示されない「測定ステージ」上に適宜にセットされる。

【0014】制御演算手段15は測定プログラムに従って走査・読取手段13を制御する。走査・読取手段13は制御内容に従い、プローブ11により表面10Aを所定の方向に連続的に走査する。この走査方向に於ける走査座標をXとする。走査座標：Xにおけるプローブ11

の変位量（図1の上下方向 測定ステージに直交する方向の変位の大きさ）：Zは、走査・読取手段13により信号化され、走査座標：Xと共に制御演算手段15に取り込まれる。プローブ11と走査・読取手段13とは「プローブ走査手段」を構成し、走査・読取手段13は「読取手段」を構成する。制御・演算手段15は、取り込んだ走査座標：Xおよび変位量：Zを所定の、もしくは所望のサンプリングピッチでサンプリングして点列データ： $X_i$ ； $Z_i$ とする。点列データは、例えば図2（横軸は走査座標：Xで縦軸が変位量：Z）に示す如くである。表面10Aに微細なゴミ等が付着しており、この部

$$f(i) = \{-(X_{i+1}-X_{i-1})Z_i + (X_{i+1}-X_i)Z_{i-1} + (X_i-X_{i-1})Z_{i+1}\} / (X_{i+1}-X_{i-1}) \cdot (X_{i+1}-X_i) \cdot (X_i-X_{i-1}) \quad (1)$$

【0015】この2次微分オペレータ： $f(i)$ は、走査軌跡上のサンプリングピッチ： $X_i-X_{i-1}$ が適当な大きさであると、サンプリング値： $Z_i$ を滑らかにつなげた曲線の2次微分（理想的には表面10Aの2次微分）を与えるが、サンプリングピッチが細くなるに従い、形状測定装置における座標測定精度や表面10Aの表面粗さに依存する高周波ノイズ状の形状成分が支配的になり、異常データが「きわだって」くる。2次微分オペレータ： $f(i)$ の1例を図3に示す。横軸はサンプリング点： $X_i$ を表し、縦軸は2次微分オペレータ： $f(i)$ である。この図は、図2に示すサンプリングデータに基づき算出したものであり、図2における「異常データ」の部分で、2次微分オペレータも他の部分から大きくかけ離れた値になっている。通常、プローブ走査式の形状測定装置でのサンプリングピッチは「0.01mm」程度が標準であり、この程度に細かいサンプリングピッチでは、2次微分オペレータは、異常データを「きわだたせる」のに十分である。

【0016】制御・演算手段15は、上記のように2次微分オペレータ： $f(i)$ が算出されたら、予め2次微分オペレータ： $f(i)$ の適正な範囲として設定された所定の範囲： $A \leq f(i) \leq B$ に応じて、範囲の上・下限値と、算出された2次微分オペレータの大小関係を演算し、 $f(s) < A$ となるサンプリング値： $Z_s$ および $f(t) > B$ となるサンプリング値： $Z_t$ を、点列データ： $Z_i$ から除去するのである（請求項1）。制御・演算手段15は、このようにして異常データを除去した残りの点列データを用いて表面10Aに関する所望の量、例えば形状曲線や近軸曲率、曲率半径等をデータ処理により演算し、その結果をディスプレイ17に表示し、所望によりプリンタ16によりプリントアウトする。なお、上記点列データ： $Z_i$ の数をNとし、これら点列データ： $Z_i$ を番号づけて $Z_1 \sim Z_N$ とすると、上記（1）式による2次微分オペレータ： $f(i)$ は、 $i=0$ および $i=N$ 、即ち、プローブ11による走査領域の始点・終点に就いては算出することができない。そこで、サンプリングデータ： $Z_i$ に就いては「 $Z_2$ が異常データのとき $Z_1$

\*分がプローブ11で走査されると、これら点列データ： $Z_i$ 内に、例えば図2の如き「異常データ」が含まれることになる。なお「 $X_i$ 」はサンプリング点であり、「 $Z_i$ 」はサンプリング値である。「異常データ」を除去するため、制御・演算手段15は以下のようにする。点列データ： $X_i$ ； $Z_i$ に基づき2次微分オペレータ： $f(i)$ を演算により算出する。互いに隣接した3つのサンプリング点を $X_{i-1}$ 、 $X_i$ 、 $X_{i+1}$ とし、これらサンプリング点におけるサンプリング値を $Z_{i-1}$ 、 $Z_i$ 、 $Z_{i+1}$ とすると、2次微分オペレータ： $f(i)$ は、以下のように定義される。

も異常データである」と約束し、サンプリングデータ： $Z_N$ に就いては「 $Z_{N-1}$ が異常データのとき $Z_N$ も異常データである」と約束して点列データから除去するか否かを決定する。上記形状測定における「異常データ除去に関する工程部分」を、図5にフロー図として示す。

【0017】上に説明した実施の形態は、被測定物10の表面10Aをプローブ11により連続的に走査し、被測定物10の表面10Aの輪郭形状を走査軌跡上の点列データ： $Z_i$ として求める形状測定装置であって、被測定物10の表面をプローブ11により連続的に走査するプローブ走査手段11、13と、プローブ走査手段による走査位置と走査結果を検出する読取手段13と、読取手段13により検出された走査結果を取り込み、所望の1連のサンプリング点： $X_i$ におけるサンプリング値： $Z_i$ に基づき、被測定物10の表面10Aの輪郭形状を走査軌跡上の点列データとして求めるとともに、各部の制御や各種演算を行う制御演算手段15と、制御演算手段15により得られた点列データや演算結果を表示する表示手段16、17とを有し、制御演算手段15が、各サンプリング点におけるサンプリング値の2次微分オペレータ： $f(i)$ を算出し、算出された2次微分オペレータが、所定の範囲を超えるサンプリング点におけるサンプリング値を点列データから除去する演算を行うものである（請求項5）。

【0018】上記の実施の形態では、点列データから異常データを除去するので、除去した異常データのあったサンプリング点でのデータが欠落し、データのサンプリングピッチが大きく変わることになる。これを避けるには、欠落したデータを、該サンプリング点近傍の複数の他のサンプリング点におけるサンプリング値を用いて「補間」すればよい（請求項2）。具体的には以下のようにする。図4において、サンプリング点： $X_i$ におけるサンプリング値： $Z_i$ が異常データとして除去された場合を考える。サンプリングピッチは前述したように0.01mm程度と小さいから、このような微小なサンプリングピッチで切り取られた被測定物1の表面形状は良い近似で直線と見なすことができ、除去された異常デ

ータ： $Z_i$  の実際の値として、サンプリング点： $X_i$  の両側に隣接した他のサンプリング点： $X_{i-1}$ 、 $X_{i+1}$  におけるサンプリング値： $Z_{i-1}$ 、 $Z_{i+1}$  を結ぶ直線上の、サンプリング点： $X_i$  における値： $Z_i'$  を用いることができる。即ち、周知の「ラグランジュの補間公式」を用いる\*

$$Z_i' = \alpha Z_{i-1} + \beta Z_{i+1}$$

となる。したがって、請求項 6 記載の形状測定装置においては、図 1 に示す実施の形態における制御演算手段 15 が、異常データが除去されたサンプリング点： $X_i$  におけるサンプリング値として、上記サンプリング点の近傍の、複数の他のサンプリング点： $X_{i-1}$ 、 $X_{i+1}$  におけるサンプリング値： $Z_{i-1}$ 、 $Z_{i+1}$  を用い、補完公式

(2) に従って補間を行い、点列データから除去された異常データ： $Z_i$  に代えて、新たなデータ： $Z_i'$  を用いるのである。

【0019】上に説明した実施の形態において、2 次微分オペレータ： $f(i)$  に対する所定の範囲： $A \leq f(i) \leq B$  の設定に関しては特に制限はなく「ユーザが経験に基づいて設定する」ようにしてもよい。しかし、2 次微分オペレータ： $f(i)$  は被測定物表面の表面粗さ等の影響も受けるものであり、またユーザが常に表面形状測定に十分に習熟しているとは限らないことを考えると、上記所定の範囲（の上・下限： $A$ 、 $B$ ）の決定を自動的に行うことができれば好都合である。

【0020】請求項 3 記載の発明の形状測定方法では、前述のごとく、上記上・下限： $A$ 、 $B$  として、ユーザが設定する定数を  $k$ 、サンプリング点： $X_i$  における 2 次微分オペレータ： $f(i)$ 、その平均値： $[f(i)]_{AV}$ 、標準偏差： $f_{std}$  を用いて、

$$A = [f(i)]_{AV} - k \cdot f_{std}, \quad B = [f(i)]_{AV} + k \cdot f_{std}$$

を用いることを提案する。2 次微分オペレータ： $f(i)$  の所定の範囲の中央値として、平均値： $[f(i)]_{AV}$  を用いることの妥当性は容易に理解されるであろう。また、標準偏差： $f_{std}$  は、点列データから求めた 2 次微分オペレータの分布の目安となるべきものであるから、これ※

$$[f(i)]_{AV} - k \cdot f_{std} < f(i) < [f(i)]_{AV} + k \cdot f_{std} \quad (3)$$

として自動設定する。

【0021】このように、異常データの除去に用いる「しきい値」である上記  $A$ 、 $B$  を自動設定する場合、最初に得られる点列データの異常データに「非常に大きい 2 次微分オペレータを与えるもの」が多数含まれていると、標準偏差が大きくなるため所定の範囲が広くなり、本来は異常データであるものが正常なデータとして残留する可能性がある。請求項 4 記載の発明では、このような状況を避けるために、自動設定された所定の範囲により異常データを除去するプロセスと、該プロセスにより異常データ除去後のデータに対して上記所定の範囲を再度自動設定して異常データの除去を行うプロセスとを、除去すべき異常データが存在しなくなるまで繰り返す。

※と、

$$\alpha = (X_{i+1} - X_i) / (X_{i+1} - X_{i-1}),$$

$$\beta = 1 - \alpha = (X_i - X_{i-1}) / (X_{i+1} - X_{i-1})$$

として、

(2)

※をもとに上記所定の範囲を設定することも妥当である。

しかし、2 次微分オペレータの平均値や標準偏差に対する異常データの影響は、点列データとして採取するサンプリング数に依存し、サンプリング数が数万点程度と大きいときには、異常データを与えるサンプリング点における 2 次微分オペレータ： $f(i)$  は、平均値： $[f(i)]_{AV}$  や標準偏差： $f_{std}$  に与える影響も小さいので、このような場合に  $k$  の値を小さく ( $k=3$ ) 設定すると、異常データを排除するための領域の幅が狭くなり、異常でないデータまでも異常データとして除去される虞れがある。従って、このような場合には  $k$  の値として 4 を設定すれば良い。逆に、サンプリング数が数千程度と少ない場合は、 $k$  の値が大きいと、異常データの内で比較的小さいものが除去されずに残る可能性があるため、このような場合には  $k=3$  とする。「 $k$  の値の設定」は、図 1 の実施の形態ではキーボード 18 から行われる。この設定は、サンプリング数をユーザが決定すると、それに応じて自動的に行われるようにしてもよい。例えば、サンプリング数が 1 万以上では  $k=4$  とし、サンプリング数が 9999 以下では  $k=3$  とするのである。もちろん、標準偏差および平均値の演算と、これらに基づく上記上・下限値： $A$ 、 $B$  の設定は制御・演算手段 15 が行う。即ち、図 1 の形状測定装置は、請求項 7 記載の発明の実施の形態としては、2 次微分オペレータの所定の範囲を設定するために、ユーザが定数： $k$  を設定するための入力部 18 を有し、制御演算手段 15 は、ユーザにより設定された定数： $k$  の値と、サンプリング点： $X_i$  における 2 次微分オペレータ： $f(i)$ 、 $f(i)$  の平均値：

$[f(i)]_{AV}$ 、標準偏差： $f_{std}$  に基づき、2 次微分オペレータの所定の範囲を、

即ち、最初に得られた点列データに基づき、2 次微分オペレータ： $f(i)$  と、その平均値： $[f(i)]_{AV}$ 、標準偏差： $f_{std}$  を算出し、(3) 式に従い「所定の範囲」を設定し、この範囲に基づいて異常データの除去を行う。このようにして異常データを除去されたデータ（除去されたデータ分は、必要に応じて請求項 2 記載の方法により補完する）に基づき、新たに 2 次微分オペレータ： $f(i)$  と、その平均値： $[f(i)]_{AV}$ 、標準偏差： $f_{std}$  を算出し、(3) 式に従い所定の範囲を再設定し（このように再設定される範囲は先の範囲よりも一般に狭くなる）、再設定された範囲に基づき異常データの除去を行う。このプロセスを繰り返すにつれて、異常データはその 2 次微分オペレータが大きいものから順次に除去され

11

ることになるので、除去されるべき異常データがなくなった状態では、適正なデータのみが残されることになる。上記プロセスを図6に示す。このプロセスはもちろん、図1の装置では制御・演算手段15が行う。即ち、制御演算手段15のROMに、図6のプロセスに従う測定プログラムが記憶されているのである。従って図1の形状測定装置は、請求項8の発明の実施の形態としては「制御演算手段15が、自動設定された所定の範囲により異常データを除去するプロセスと、該プロセスにより異常データ除去後のデータに対して上記所定の範囲を再度自動設定して異常データの除去を行うプロセスとを、除去すべき異常データが存在しなくなるまで繰り返すのである。

## 【0022】

【発明の効果】以上に説明したように、この発明によれば新規な形状測定方法および形状測定装置を実現できる。この発明の形状測定方法は、異常データの選別を「点列データの各サンプリング点における2次微分オペレータが所定の範囲にあるか否か」により行うが、2次微分オペレータは被測定物の表面における「曲率」に比例的であり、曲率が極端に大きくないところでは正常なデータに対する2次微分オペレータはさほど小さくなく、表面の傾きの大きい領域でも正常データが異常データとされる虞れは小さく、異常データを有効且つ適正に

12

除去することが可能であり、測定の信頼性が高い。またこの発明の形状測定装置は上記測定方法を実施することにより、高い信頼性で被測定物の表面形状を測定できる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の形状測定装置の実施の形態を説明するためのブロック図である。

【図2】点列データと、それに含まれる異常データを説明するための図である。

10 【図3】図2の点列データに基づき算出された2次微分オペレータを説明するための図である。

【図4】請求項2記載の発明におけるデータ補間を説明するための図である。

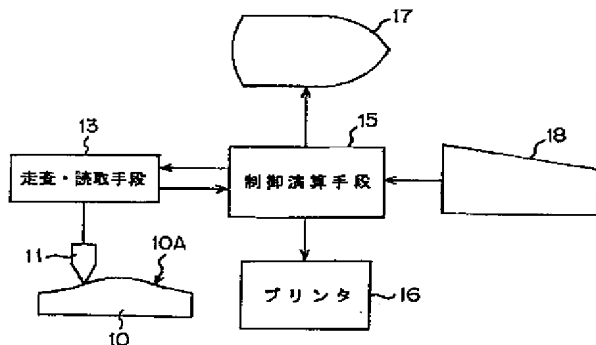
【図5】請求項1記載の発明の形状測定方法の特徴部分を表したフロー図である。

【図6】請求項4記載の発明の形状測定方法の特徴部分を表したフロー図である。

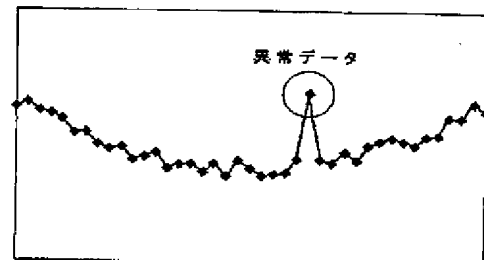
## 【符号の説明】

- |     |         |
|-----|---------|
| 10  | 被測定物    |
| 10A | 被測定物の表面 |
| 11  | プローブ    |
| 17  | ディスプレイ  |
| 18  | キーボード   |

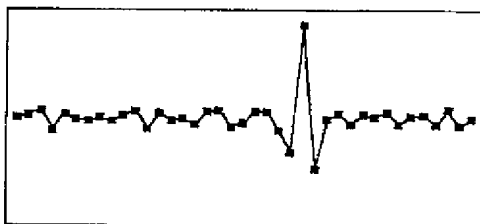
【図1】



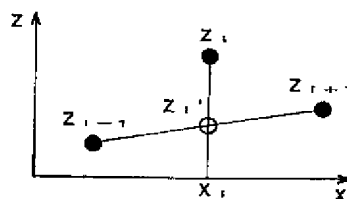
【図2】



【図3】

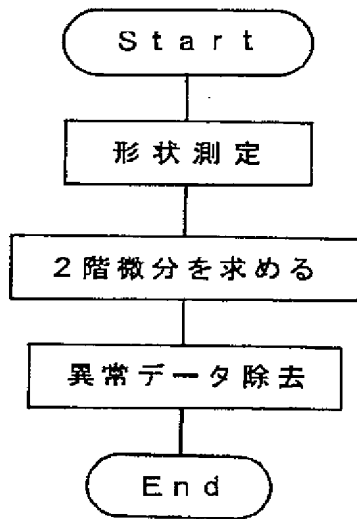


【図4】





【図5】



【図6】

